

BY

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 608 741

②1 N° d'enregistrement national :

86 18008

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : F 24 J 2/16.

①2

# DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 19 décembre 1986.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 25 du 24 juin 1988.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : SEVELINGE Gérard. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Gérard Sevelinge.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 Capteur solaire à concentration. Linéaire à lames mobiles.

⑤7 La présente invention a pour objet un héliostat ou lame,  
pièce constitutive essentielle du réflecteur d'un capteur solaire  
à concentration linéaire.

L'association de plusieurs de ces héliostats permet en effet  
de constituer le réflecteur d'un capteur solaire à lames mo-  
biles.

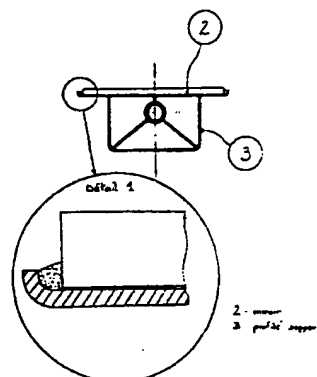
On sait qu'un capteur solaire à concentration par réflexion  
comporte les éléments principaux suivants :

- le réflecteur chargé de renvoyer en le concentrant, le  
rayonnement solaire;
- le récepteur ou chaudière dont le but est de transformer  
le rayonnement en chaleur;
- le système de suivi du soleil.

Différents systèmes de concentrateurs ont été étudiés et  
expérimentés. La description du système dit à « lames mo-  
biles » permet de comprendre le fonctionnement du capteur  
réalisé suivant ce principe.

L'héliostat ou lame constitué par un tube à section rectan-  
gulaire ou d'une forme appropriée telle que représentée sur la  
figure 4 présente les avantages d'un mode de réalisation  
simple et économique et de permettre la protection la plus

efficace qui soit des miroirs qui sont collés à la face supé-  
rieure du tube.



FR 2 608 741 - A1

La présente invention concerne un héliostat et une association de ces héliostats pour constituer le collecteur d'un capteur solaire. Le principe de fonctionnement d'un tel capteur solaire, et en particulier, les héliostats, pièces constitutives principales du collecteur d'un tel capteur solaire sont décrits ci-après.

# I - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Si l'on considère le schéma n° Fig 1

Le soleil est la source S qui peut être considérée comme à l'infini, les rayons directs r sont donc parallèles. En réalité, nous savons que nous voyons, de la terre, le disque solaire sous un angle de 32' d'arc. On tiendra compte de cette réalité dans les calculs relatifs au récepteur R.

Deux réflecteurs  $M_1$  et  $M_2$  reçoivent le rayonnement direct en provenance du soleil et renvoient les rayons sur le récepteur R. Pour satisfaire cette condition, il suffit que les normales des réflecteurs  $N_1$  de  $M_1$ ,  $N_2$  de  $M_2$  soient bissectrices des angles  $RM_1S$  et  $RM_2S$ .

$$\widehat{RM_1S} = \alpha$$

$$\widehat{RM_2S} = \beta$$

Lorsque le soleil vient dans une position  $S'$ ; rotation de la terre d'un angle  $\omega t$ , nous pouvons toujours admettre que  $M_1S'$  et  $M_2S'$  sont parallèles, et comme  $M_1M_2$  est petit devant  $M_1S'$  ou  $M_2S'$ , l'on en déduit.

$$SM_1S' = SM_2S' = \gamma$$

Si les réflecteurs  $M_1$  et  $M_2$  sont orientés pour réfléchir le rayonnement reçu, en R, lorsque le soleil est en S, un changement d'orientation de  $\gamma/2$  pour chacun de ces deux réflecteurs lorsque le soleil est  $S'$  permet encore de renvoyer le rayonnement sur R.

Ce raisonnement pouvant être généralisé pour n réflecteurs.

Enfin, si on imagine un système d'axes de repérage [ o, x, y, z ] passant par le centre de R, chaque miroir réflecteur à une position par rapport à R, telle que :

$$M_1 \begin{cases} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{cases} \quad M_2 \begin{cases} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{cases} \quad M_i \begin{cases} x_i \\ y_i \\ z_i \end{cases} \quad M_n \begin{cases} x_n \\ y_n \\ z_n \end{cases}$$

Si pour une position donnée de la source S, les miroirs M sont orientés pour réfléchir le rayonnement direct sur R, ces miroirs réfléchissent encore le rayonnement sur R pour une position  $S'$  de S (soleil) si l'on fait tourner les miroirs M du demi-angle  $SMS'$ , puisque :

$$SM_1S' = SM_2S' = SM_iS' = SM_nS'$$

La position par rapport à R des miroirs réflecteurs M n'a d'influence que sur le "calage origine" des miroirs M ( $\alpha$  et  $\beta$  pour  $M_1$ ,  $M_2$ ).

On a toujours  $\alpha - \beta = \text{constante}$ .

## II - CONSTITUTION - DESCRIPTION DES PRINCIPAUX ORGANES

Ce capteur est du type à concentration linéaire et est constitué des organes principaux suivants :

- 5 1°) Le réflecteur dont le but est de collecter puis de concentrer le rayonnement. Le réflecteur est constitué par l'association d'héliostats.
- 2°) Le récepteur ou chaudière, chargé de transformer le rayonnement en chaleur. L'évacuation des calories produites se faisant grâce à un fluide caloporteur circulant dans ce récepteur.
- 3°) Un mécanisme de commande d'orientation du réflecteur.
- 10 4°) Un système de contrôle commande permettant le suivi du soleil et intégrant toutes les sécurités.

### 1 - LE REFLECTEUR

15 Il est constitué d'un ensemble de lames parallèles ou héliostats, articulés aux extrémités. Ces héliostats font l'objet d'une description détaillée ci-après. Chacune de ces lames a un "calage" d'origine qui permet la réflexion du rayonnement sur le récepteur R. Ce réglage d'origine est facile à effectuer, en utilisant un laser par exemple, ou par mesure directe d'angle.

20 En effet, en fonction de sa position par rapport au récepteur R et à l'axe de symétrie du réflecteur, chaque héliostat a une orientation d'angle  $\psi$  déterminée.

25 La figure n° 2 illustre ce qui vient d'être énoncé. Elle représente un capteur dont les lames sont articulées dans un plan. Cette disposition est simple à mettre en oeuvre mais le principe du capteur est conservé pour d'autres dispositions : par exemple, les axes de rotation des héliostats peuvent être sur les génératrices d'un cylindre.

**A - ELEMENT REFLECHISSANT OU HELIOSTAT**

5 L'association de plusieurs éléments réfléchissants ou héliostats permet de constituer un collecteur solaire. Le rayonnement solaire incident capté par le collecteur peut être renvoyé sur une cible, en l'occurrence une chaudière qui permet la transformation du rayonnement en chaleur. Une des caractéristiques essentielle des héliostats est leur pouvoir réflecteur.

Le miroir, obtenu à partir de verre plat, argenté sur la face arrière possède un bon pouvoir réflecteur et constitue une solution intéressante pour la fabrication d'héliostats car c'est un produit bon marché.

10 Cependant, un miroir soumis aux conditions atmosphériques extérieures reste un élément très fragile, qui perd rapidement une partie de son pouvoir réflecteur si on n'adopte pas des solutions permettant une protection efficace de l'argenteure.

15 Il existe des solutions connues pour assurer la protection de l'argenteure telles que : vernis de protection, plaque de verre collée sur la face argentée constituant ainsi un miroir sandwich. Il faut en fait trouver une solution économique qui garantisse le plus longtemps possible les qualités du miroir qui rappelons-le, possède à l'état neuf un bon coefficient de réflexion du rayonnement solaire.

20 Les dispositions constructives décrites ci-après permettent la réalisation d'héliostats dans des conditions économiques satisfaisantes tout en garantissant la tenue dans le temps des miroirs utilisés.

**a) Avec un profilé métallique à section rectangulaire**

25 La figure 3 représente la partie centrale de l'héliostat qui est constituée par :

- . un support métallique - tube à section rectangulaire 1 ,
- . des miroirs plans rectangulaires 2 collés sur la face du tube,
- . une colle 3 dont les bourrelets se feront sur les côtés si les miroirs sont un peu moins larges que le tube.

30 En utilisant une colle silicone par exemple qui reste souple après polymérisation, les petits écarts dimensionnels dus à des variations de température entre support et miroirs seront acceptés. L'encollage étant total et l'épaisseur de colle suffisante pour qu'il se forme un bourrelet comme représenté sur la fig. 3, ce qui empêche les entrées d'air ou d'eau entre le miroir et la face supérieure du tube. On obtient par cette disposition un sandwich métal

35 verre et l'argenteure étant prisonnière entre ces deux couches imperméables ne peut pas s'altérer.

40 b) Une solution similaire mais améliorée est également présentée sur les figures 4 et 5 . Le profilé métallique représenté en coupe sur la figure 4 comporte une face plane à la partie supérieure a , bordée de tombées c de faible hauteur. Les miroirs sont collés sur cette face. Les tombées c évitent les coulées de colle et font également une protection très efficace des champs des miroirs. Les miroirs étant d'une largeur légèrement inférieure à celle du profilé, il se forme un bourrelet de colle (fig. 5 détail.1.) qui comme dans la solution décrite précédemment constitue

45 un véritable joint d'étanchéité et empêche toute infiltration d'air ou d'eau entre la face inférieure du miroir (argentée) et la face supérieure du profilé.

L'intérêt de la solution décrite est donc d'obtenir un héliostat (Lame):

- facile à réaliser et économique,
- assurant une protection efficace de l'argenture des miroirs par un collage total, y compris vers les tranches, par la formation d'un bourrelet de colle faisant joint d'étanchéité et évitant les entrées d'air ou d'eau entre miroirs et profilé.

5 c) La figure 6 représente une extrémité de l'héliostat. Le palier d'extrémité est constitué par une rotule 19 fixée sur un support 3 et sur le tube 1 pièce principale de l'héliostat par l'intermédiaire de la pièce 10. L'héliostat est ici représenté en coupe longitudinale. Le miroir 2 (miroir plan) est collé sur la face supérieure du tube.

40 Le tube devra être en un matériau inoxydable ou avoir reçu une protection anti-corrosion.

## 2 - LE MECANISME D'ORIENTATION DES HELIOSTATS CONSTITUANT LE REFLECTEUR

45 Compte tenu que toutes les lames ou héliostats pivotent d'un même angle  $\theta$  -  $\theta$  étant le demi angle fait par le soleil entre les instants  $t_1$  et  $t_2$  par exemple - on peut utiliser le système à parallélogrammes fig. 7 et décrit ci-après.

20 Les biellettes a forment avec chaque lame un angle  $\psi$ ,  $\psi_1$  pour la biellette  $a_1$ ,  $\psi_2$  pour la biellette  $a_2$ , ... Chaque biellette est solidaire d'une lame. La rotation d'une biellette autour de l'axe longitudinal de l'héliostat (lame) provoque la rotation de ce dernier du même angle.

25 L'angle  $\psi$  est constant et représente un angle de calage initial. Cette disposition ayant déjà été expliquée par la figure 2. On a donc pour chacune des lames un angle  $\psi$ , fonction de la position de la lame (héliostat) par rapport au récepteur R et à l'axe de symétrie du réflecteur. La barre 10 fig. 7 permet la manoeuvre simultanée des biellettes a.

Les points 1, 2, 3, 4, 5, 6 ... représentent des articulations.

## CONSIDERATIONS D'ORDRE AERODYNAMIQUE

Plusieurs solutions sont possibles pour concentrer le rayonnement solaire. Dans le cas de la concentration linéaire, le système à lames mobiles est particulièrement avantageux et intéressant d'un point de vue aérodynamique, ce que nous allons montrer ci-après.

5 1 - VARIATION DE LA RESULTANTE AERODYNAMIQUE SUR UNE SURFACE PLANE EN FONCTION DE L, l :

Soit L la longueur et l la largeur.

Nous savons que la valeur de la résultante aérodynamique est donnée par la relation

10 
$$F = k.Cx \cdot \rho \cdot S \frac{V^2}{2}$$

$\rho$  étant la masse volumique de l'air

$Cx$  le coefficient de trainée

S la surface = L x l

V la vitesse du vent

15 On définit un coefficient  $\lambda = \frac{1}{L}$

Les essais en soufflerie montrent :

- l'importance du rapport  $\lambda$ .
- une résultante maxi pour  $\lambda = 1$  à une incidence voisine de 40° pour une plaque plane.

20 2 - POSITION DE LA RESULTANTE AERODYNAMIQUE

A une incidence  $i = 90^\circ$

R est au centre de gravité de la plaque rectangulaire P

25 Lorsque i diminue R se rapproche du bord d'attaque et par exemple pour i compris entre 5 et 10°, R est située entre 25 et 30 % de la profondeur.

Fig. 8 et 9

### 3 - INFLUENCE DE LA VALEUR ET DE LA POSITION DE LA RESULTANTE AERODYNAMIQUE

Dans le cas où la plaque est articulée et soumise à l'action du vent, la résultante aérodynamique  $R$  va créer un couple de rotation fonction de la valeur et de la position de  $R$ . Fig 10

5  $R = f(\lambda)$

$C = R d.$  avec  $d = k'l.$

Pour une surface  $S$  donnée, nous pouvons comparer le couple créé pour  $n$  plaques de surface  $\frac{S}{n}$

1°) Pour des plaques de surface  $\frac{S}{n} = L \cdot \frac{1}{n}$

10 Nous avons pour une plaque :

$$R = k \frac{S}{n} \quad d = k' \frac{1}{n}$$

$$C = R d = k \frac{S}{n} k' \frac{1}{n}$$

Pour  $n$  plaques de surface  $\frac{S}{n}$

$$C_t = nC = k S k' \frac{1}{n}$$

15 2°) Alors que pour une plaque de surface  $S$  nous aurions :

$$R = k S$$

$$d = k'l$$

$$C = R d = k S k'l$$

On voit ainsi que pour la même superficie  $S$ ,  $n$  plaques de superficie  $\frac{S}{n}$  engendrent un couple  $n$  fois plus petit qu'une plaque unique de superficie  $S$ .

5 Et compte tenu du fait que  $\lambda$  sera plus faible dans le cas de  $n$  plaques, la résultante pour une incidence donnée autre que  $90^\circ$  sera également plus faible que dans le cas de la plaque unique (voir courbes diagramme 1).

#### 4 - CONCLUSION

10 Un réflecteur de capteur solaire de surface  $S$  nécessitera un couple de maintien ou de positionnement pour le suivi du soleil, au moins  $n$  fois plus faible si ce réflecteur est composé de  $n$  plaques orientables, de superficie  $\frac{S}{n}$ , que s'il était composé d'une seule plaque orientable de superficie  $S$ .

Le raisonnement que nous avons conduit avec des plaques planes reste valable pour toute autre forme.



## REVENDICATIONS

8

1. - Héliostat caractérisé en ce qu'il est constitué par des miroirs plans collés sur un tube de section rectangulaire ou sur la face plane de la partie supérieure (a) d'un profilé métallique, cette face plane étant bordée de tombées (c) de faible hauteur.

5        2. - Héliostat selon la revendication 1; caractérisé en ce que les miroirs sont collés sur toute leur surface et sur le tube ou profilé métallique à l'aide d'une colle présentant des caractéristiques mécaniques appropriées après réticulation, de résistance au cisaillement et de souplesse, de manière à ce que l'ensemble miroirs, colle et tube ou profilé constitue un sandwich.

10       3. - Héliostat réalisé selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il est monté sur deux articulations fixées aux extrémités du tube, permettant ainsi sa rotation autour d'un axe passant par ces articulations.

15       4. - Association d'héliostats réalisés suivant les revendications 1 - 2 - 3, caractérisée en ce qu'elle constitue le collecteur d'un capteur solaire à lames mobiles, ces héliostats étant placés dans un plan, sur un cylindre ou suivant une géométrie appropriée.

20       5. - Collecteur de capteur solaire constitué de plusieurs lames ou héliostats réalisés suivant les revendications 1 - 2 - 3 caractérisé en ce que les axes des héliostats sont parallèles et commandés par un même système permettant à tout moment le bon positionnement desdits héliostats de façon à réfléchir le rayonnement sur un récepteur placé dans une position définie.

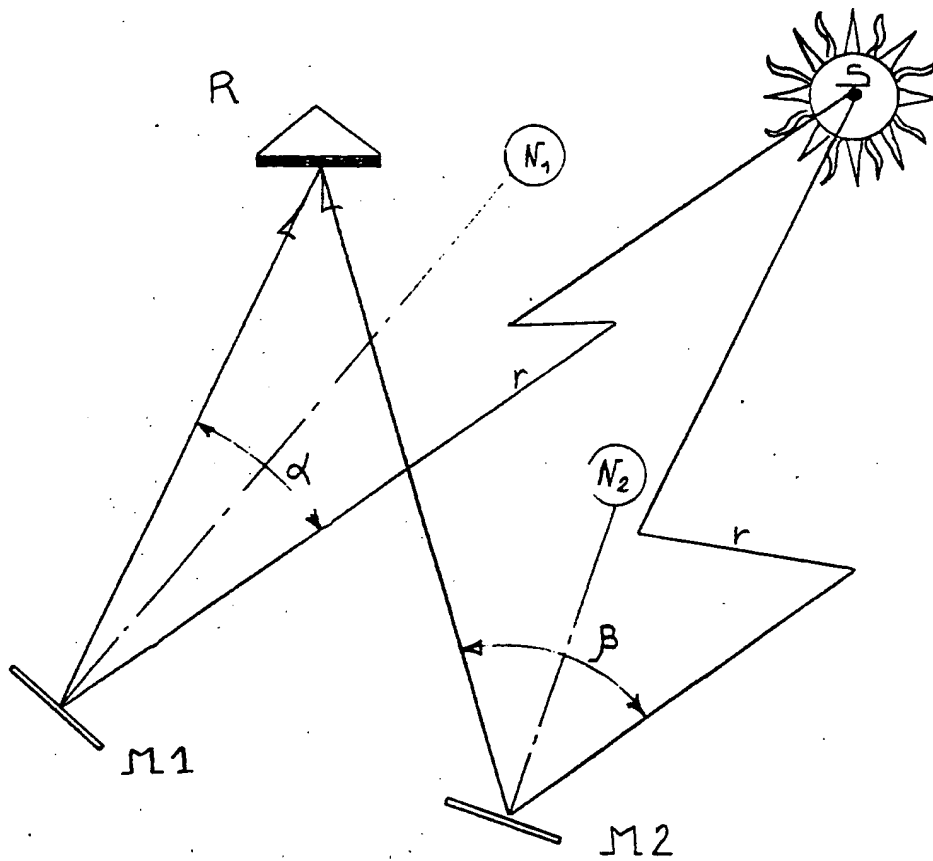
FIG. 1

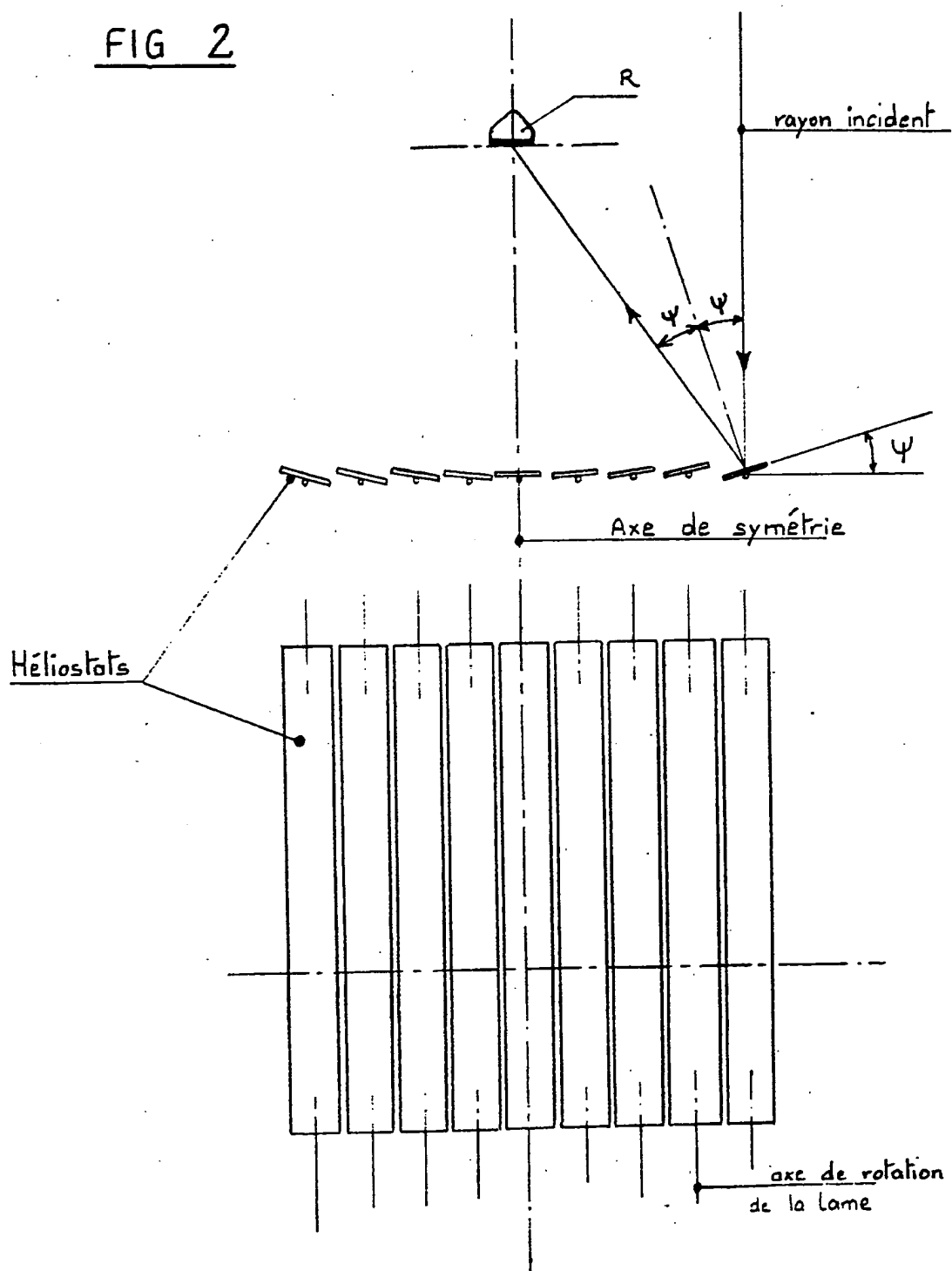
FIG 2

FIG. 3

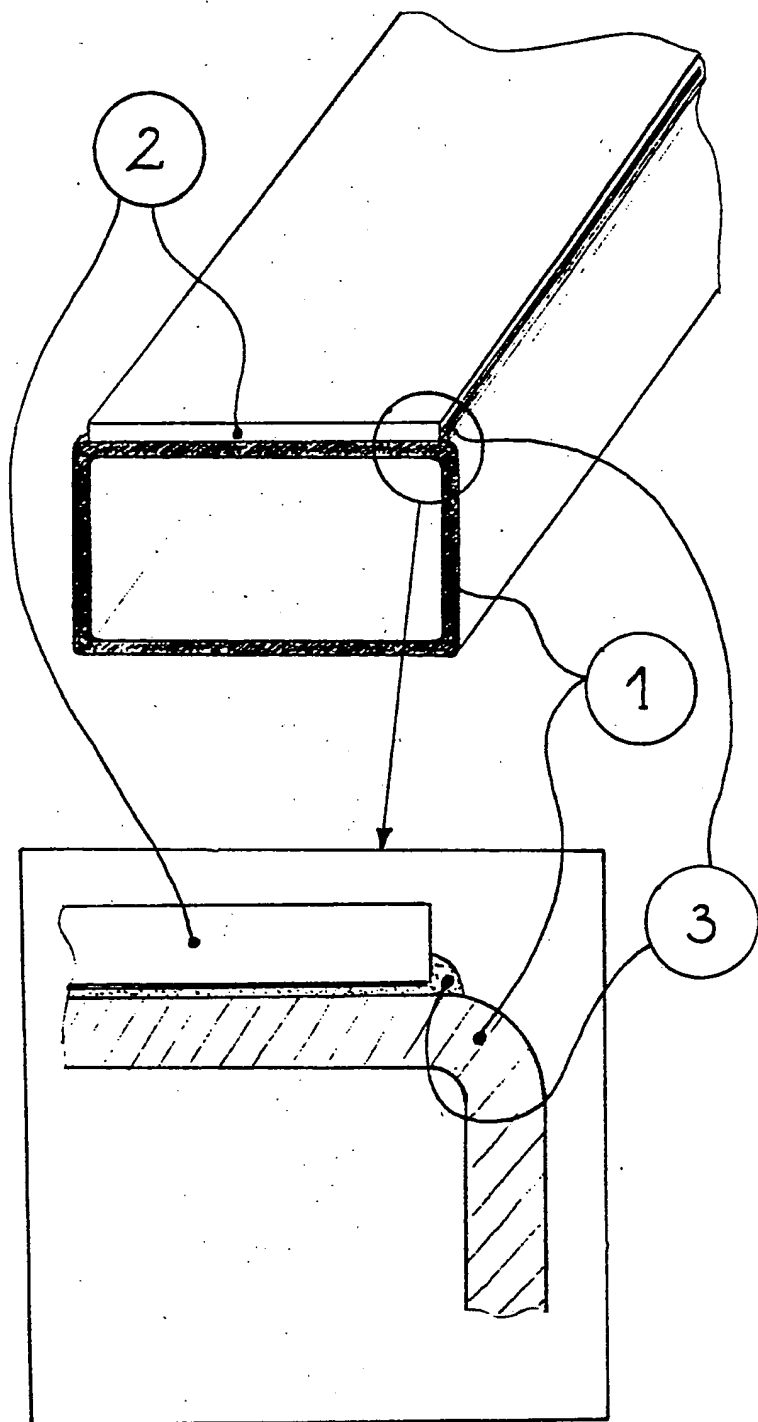
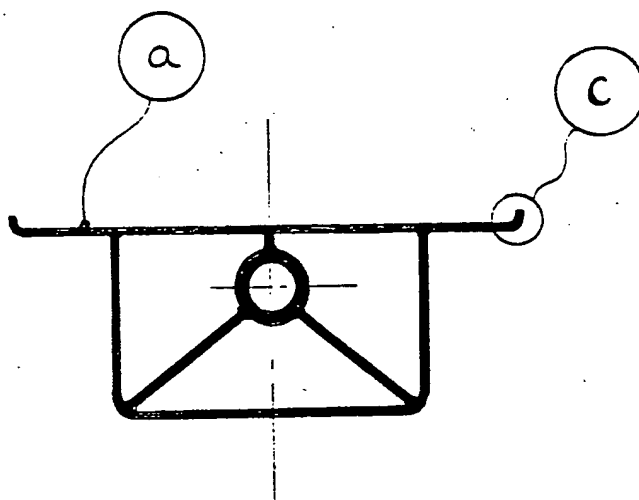
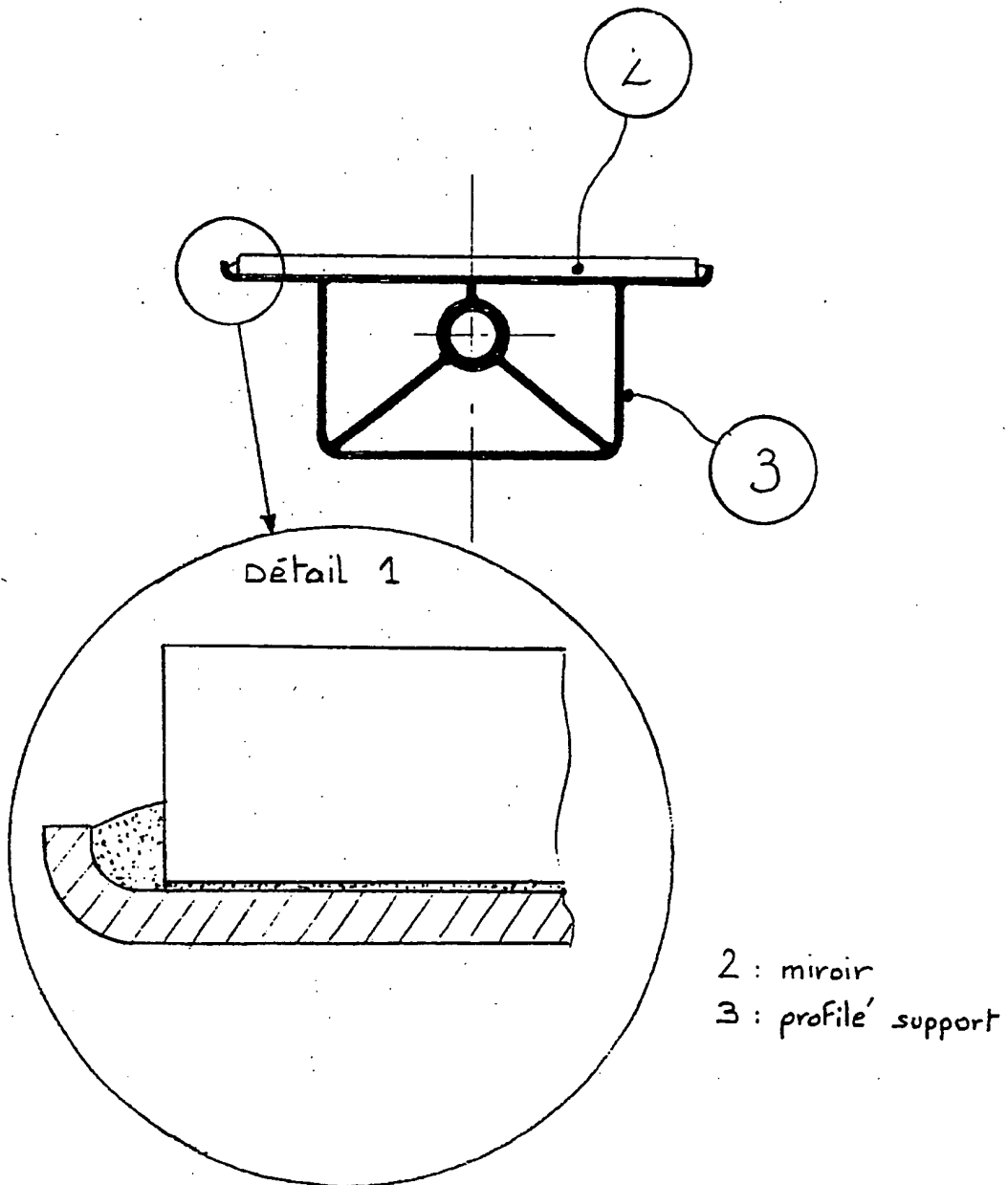


FIG 4

vue en coupe transversale

FIG 5

2608741

FIG. 6

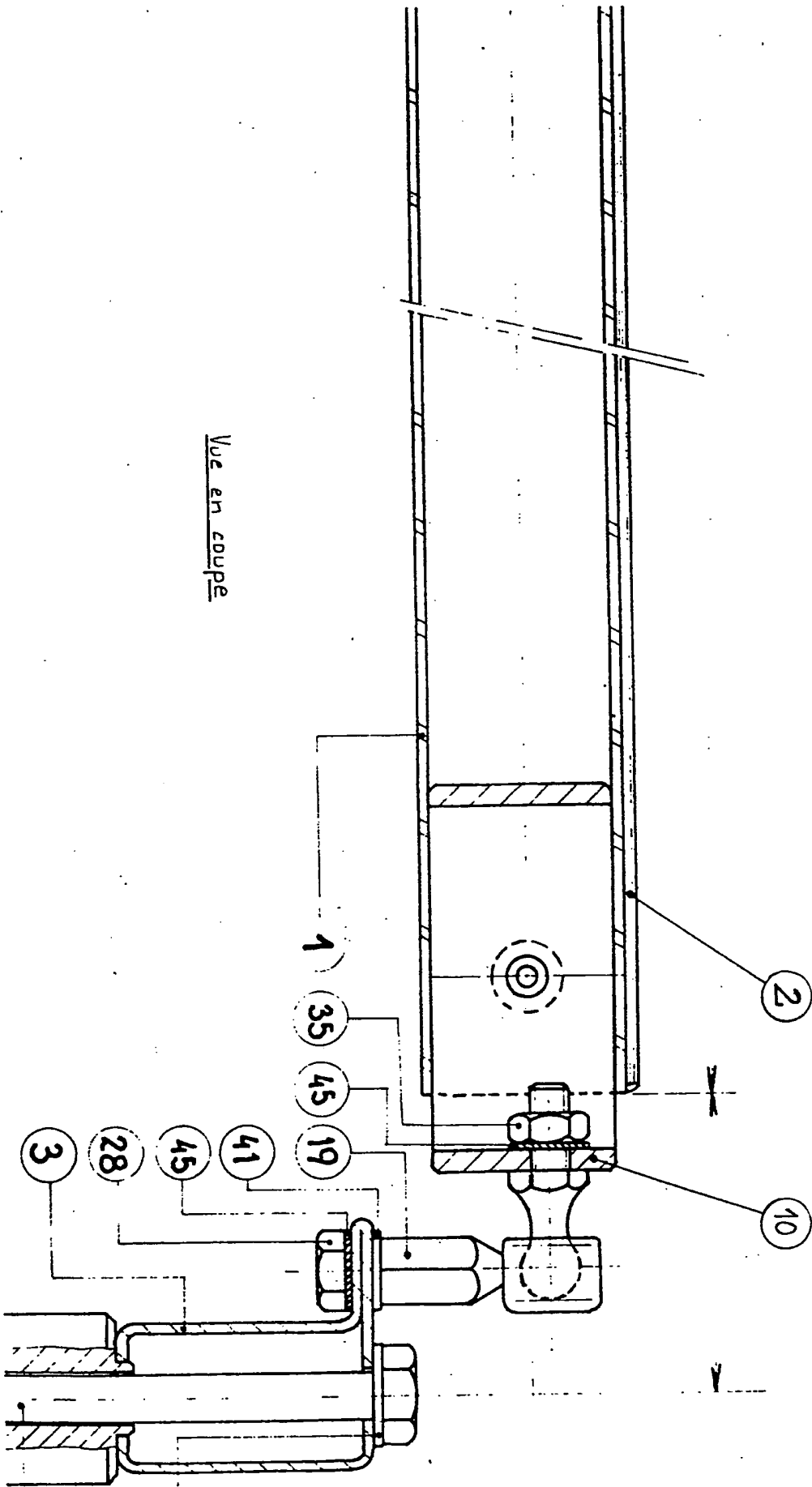
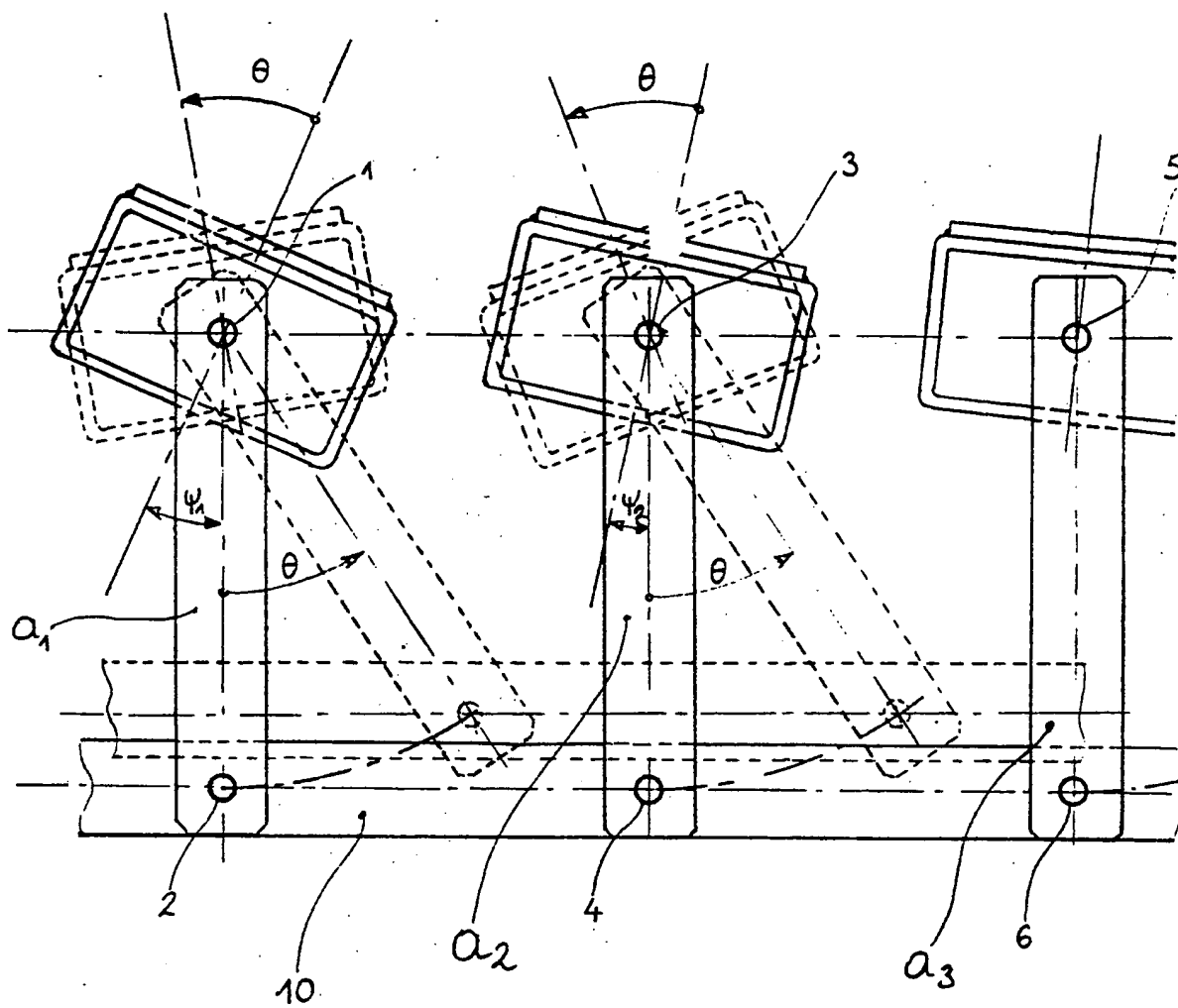
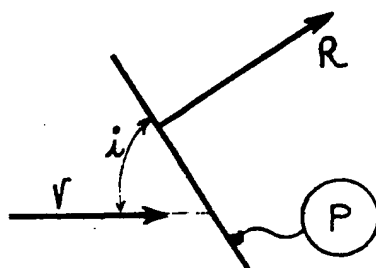
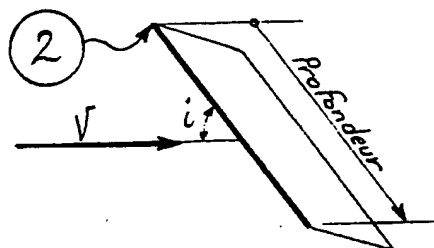


FIG. 7



FIG 8FIG 9

2 : bord d'attaque.

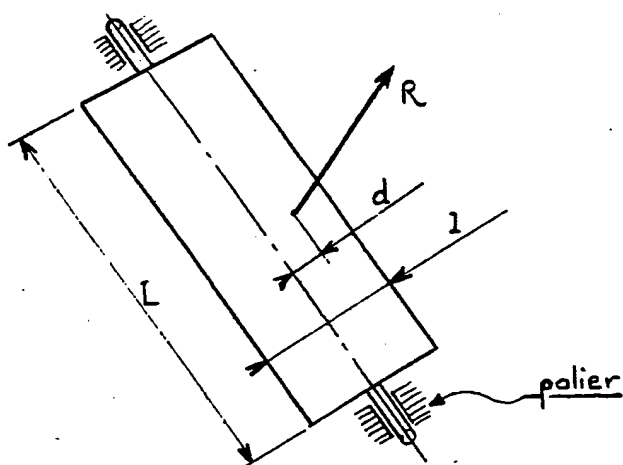
FIG 10

Diagramme 1